

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství

Katedra materiálového inženýrství

Stellitové navarové vrstvy

Stellite weld deposit layers

Student:

Lukáš Musil

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Kraus Ph.D

Ostrava 2015

Zadání bakalářské práce

Student:

Lukáš Musil

Studijní program:

B3923 Materiálové inženýrství

Studijní obor:

3911R030 Technické materiály

Téma:

Stellitové návarové vrstvy
Stellite Weld Deposit Layers

Zásady pro vypracování:

Teoretická část:

- Tvrdé povrchové funkční vrstvy a jejich aplikace
- Povrchové vrstvy na bázi Co, Stellite
- Mechanické, korozní a frikční vlastnosti návarových materiálů
- Vady návarových vrstev

Experimentální část:

- Poškození kulových ventilů opatřených Stellite vrstvou
- Metalografické hodnocení
- Mechanické vlastnosti

Diskuze, Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] PORTER D. A., ESTERLING, K. E., SHERIF M. Y.: Phase Transformations in metals and alloys, Third edition, CRC Press 2009.
- [2] STELLITE® 6 ALLOY: Comparison of the Properties of Stellite 6(R) Alloy when Supplied in different product forms. <http://www.stellite.com> STELLITE® 6 ALLOY. Page 1 of 4 - May 25, 2007
- [3] Cracking and Disbonding of Hardfacing Alloys in Combined-Cycle Plant Valves. Project ID: 073512. Electric Power Research Institute, May 2012.
- [4] KOUKAL, J., SCHWARZ, D., HAJDÍK, J.: Materiály a jejich svařitelnost, Ostrava: 2009

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Kraus, Ph.D.**

Datum zadání: 28.11.2014

Datum odevzdání: 21.05.2015



prof. Ing. Vlastimil Vodárek, CSc.
vedoucí katedry

prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování bakalářské práce

I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání bakalářské práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list | 6. Obsah BP |
| 2. Originál zadání BP | 7. Textová část BP |
| 3. Zásady pro vypracování BP | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 9. Přílohy |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníky a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnické nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP nemusí obsahovat experimentální (aplikační) část.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman (nebo podobné) 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na

ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost.

U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury.

Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

- ad 8) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

- ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*


dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě.

IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2014/2015.

Ostrava 4. 11. 2014


Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 - školní dílo);
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB - TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřisežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně.

V Ostravě 18.5. 2015

Lubás Musil

podpis (jméno a příjmení studenta)

Touto cestou bych velmi rád poděkoval mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Krausovi, Ph.D, za vedení, zájem a čas, který mi věnoval. Paní Naděždě Brychtové a paní Kateřině Konečné za odborné rady a vstřícnost při práci v laboratoři. Mé poděkování patří také mé rodině a blízkým za podporu a pomoc během studia.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá tvrdými povrchovými vrstvami, na bázi kobalt-chrom, též nazývanými jako Stellite, jejich poruchy, se v praxi projevují odloupáváním Stellite vrstvy. Prakticky je analyzováno poškození povrchové vrstvy částí kulových ventilů po reálné provozní expozici. K selhání vrstvy došlo po velmi krátké době, resp. několika málo cyklech změny polohy. Proto na vzorku kulového ventilu byla provedena mikrotvrdost a analýza SEM pro zjištění příčin vad a neshod navržených vrstev, které pracují za vysokých teplot a tlaků. Pro analýzu v experimentální části se použily ventily na, kterých je nanášena stellite vrstva, která nesplňuje parametry pro provoz.

Klíčová slova:

Stellite, mikrotvrdost, mikrostruktura, tvrdost, metalografické hodnocení, SEM analýza

Abstract

This thesis deals with hard surface layers, based on cobalt-chromium, also called as Stellite their faults, are reflected peeling stellite layer. Practically is analyzed damage the surface layer parts of ball valves after the real operational exposure. The failure of the layer occurred after a very short time, respectively a few cycles of change of position. Therefore, on the sample of the ball valve was made a microhardness and SEM analysis on the causes of defects and discrepancies layers each designed to operate at high temperatures and pressures. For analysis in the experimental part were used valves, which is deposited stellite layer which does not meet the parameters for operation.

Keywords:

Stellite, micro-hardness, microstructure, hardness, metallurgical evaluation, SEM analysis

Obsah:

1. Úvod.....	2
2. Kobalto-chromové vrstvy.....	3
2.1 Typické chemické vlastnosti stelitových slitin.....	3
2.2 Typy stellitu.....	4
3. Navařování kluzných vrstev.....	5
3.1 Plasmové navařování stelitových vrstev.....	6
3.2 Návarové slitiny do podmínek abraze.....	7
4. Lomy a způsob šíření.....	8
4.1 Únavy při creepovém chování	12
4.2 Schématický průběh změn rozvoje trhliny.....	12
5. Vliv chemického složení a struktury na odolnost materiálu proti tepelné únavě.....	13
5.1 Krystalizace.....	15
5.2 Nukleace.....	15
5.3 Povrchové napětí.....	15
6. Praktická část.....	17
6.1 Nepoškozená Stelitová vrstva	19
6.2 Poškozená Stelitová vrstva	20
6.3 Analýza SEM.....	23
6.4 HV měření.....	26
7. Závěr.....	31
Literatura.....	33

1. ÚVOD

Kobalto-chromové vrstvy, též nazývané jako Stellite, jsou používány v běžném provozu například v elektrárnách, vysokotlakých zařízeních, lékařství, vojenském průmyslu a dále na lopatky rotorů. Stellite, byl poprvé objeven na začátku 19. století a hned si našel svoje uplatnění. Vlastnosti této vrstvy převyšují vlastnosti běžné oceli a jejich aplikace je na nejrůznějších základních ocelích a tím vylepší jejich vlastnosti. Nejpoužívanější je Stellite značky 6. Tloušťka funkční vrstvy se pohybuje okolo 3-5 mm. Díky prvkům, které obsahuje by bylo finančně náročné vyrobit materiál, který se skládal čistě jenom ze Stellite vrstvy, proto je finančně výhodné ho nanášet ve funkčních vrstvách. Tyto vrstvy se nejčastěji navažují plamenem nebo laserem, při jeho použití nedochází k velkému natavení základního materiálu. Proto druhá navařená vrstva už má požadované pracovní vlastnosti. Jsou nejrůznější typy Stelliteových vrstev a každá tato vrstva je svými vlastnostmi použitelná v jiných podmínkách. Podmínky jsou pro tyto vrstvy velmi těžké, pracují jak za zvýšených teplot tak i tlaků, které se podepisují na životnosti a funkčnosti vrstev. V provozu nastává problém, protože dochází k odlupování těchto vrstev a tím k netěsnosti součástí. Při netěsnosti může dojít jak k finančním tak i materiálním škodám.

Tato bakalářská práce se zabývá Stelliteovou vrstvou na armatuře, která pracovala v tepelné elektrárně jako ventil. Stelliteová vrstva se začala po krátké pracovní době odlupovat a zapříčinila netěsnost armatury. Armatura byla kulového tvaru a otvírala a zavírala se pouze dvakrát měsíčně.

2. KOBALTO-CHROMOVÉ VRSTVY

Charakteristika

Kobalto-chromové vrstvy, které se nazývají Stellite patří díky svým vlastnostem do skupiny super slitin. Skládají se z komplexních karbidů v matici slitiny, který dodá kobalto-chromové slitině vysokou odolnost proti opotřebení, vynikající chemickou a korozní hodnotu v nepříznivém prostředí. Při spojení kobaltu a chromu dostaneme slitinu o vysoké teplotě tání, která činí okolo 1600 – 1700°C , tato vlastnost se využívá u vysoko řezných nástrojů, protože čela břitů dosahují vysokých teplot a další využití je v plynových turbínách, kde se povlakuji vysoce namáhané díly. [1]

Historie

Stellit byl vyvinut na začátku 19. století Elwoodem Haynesem jako alternativa pro přístroje, které byly citlivé na zbarvení.

Stellite slitiny jsou adaptivní a mohou být aplikovány pro celou řadu konkrétních situací. Díky svým neuvěřitelně tvrdým materiálovým vlastnostem jsou sami o sobě složitější na výrobu, protože musíme použít přesné lití, obrábění a broušení, což je spojeno s přesnými nároky na kvalitu.

Karbidy přítomné ve slitině kobalt-chrom jsou bohaté na typ karbidu M_7C_3 . Nejrozšířenější druh Stellite je Stellit 6, je charakteristický pro pracovní podmínky tzn. standart pro všeobecné podmínky: odolnost proti opotřebení, vysokou mechanickou a chemickou činnost v těžkém provozním prostředí. [1,2]

2.1 Typické chemické vlastnosti stelitových slitin

Existuje mnoho typů a variant Stelliteových vysoce legovaných slitin, které obsahují různé množství titanu, křemíku, síry, fosforu, molybdenu, manganu, chromu, uhlíku, boru, hliníku, železa a kobaltu. Většina Stelliteových slitin obsahuje čtyři až šest těchto prvků. Stelliteové slitiny se dále dělí podle obsahu uhlíku [2]:

High Carbon s vysokým obsahem uhlíku – určené pro vysokoteplotní aplikace:

Low Carbon má navíc v sobě více chromu proti korozi, chrom je rozpuštěný jak v matici kvůli zpevnění, tak i na povrchu, čímž zabraňuje korozi.

2.2 Typy stellitu

Tab. 1. Složení Stellitu 1

Prvek	Co	Cr	W	C	Si	Fe	Ni	Ostatní
hm. %	57	28-32	11-13	2-3	1,2	1	1	1,5

Stellit 1 je vyráběna řadou různých postupů včetně horkého kování, práškové metalurgie, navařování práškového kovu. Stelitová vrstva díky své tvrdosti je těžce obrobitelná a musí se používat nástroje s dostatečnou odolností a „obráběcím“ výkonem. Vzhledem k velké houževnatosti je nejvíce obráběn broušením nebo řezáním.

Tab. 2. Složení Stellitu 3

Prvek	C	Cr	W	Co
hm. %	2,4	30	13	zbytek

Tímto Stelitem 3 se potahují zuby ozubených kol, talířové ventily, ventilová sedla, kulometné hlavě. Také se například využívá v lékařství na kloubní náhrady a zubní protézy. Typická tvrdost dle Rockwella je 51-58 HRc.

Tab. 3. Složení Stellitu 6

Prvek	Ni	Fe	C	Mn	Cr	V	Co
hm. %	3	3	1,2	1	28	4,5	Zbytek

Stellit 6 se využívá ve velkých tepelných rozdílech do 700 °C. Dále má velmi dobré vlastnosti v kluzu a proto se používá jako kluzné uložení. Typická tvrdost dle Rockwella je 39-43 HRc.

Tab. 4. Složení Stellitu 12

Prvek	Ni	Fe	C	Cr	V	Co
hm. %	3	2,5	1,5 – 1,8	29,5	8,5	Zbytek

Stellit 12 je využíván na ložiska, navařování ventilů motorů, přítlačných kladek, hrany lopatek rotoru, ale jeho nevýhoda je, že díky zápornému volnému koroznímu potenciálu je v slané vodě náchylný k důlkové korozi. Typická tvrdost dle Rockwella je 47-51 HRc

Tab. 5. Složení Stellite 21

Prvek	Cr	Mo	C	Ni	Co
hm %	29	6	0,35	3	Zbytek

Poprvé byl Stellite 21 vyroben v polovině roku 1930 a hned si našel uplatnění v lékařství, jako kluzná vrstva funkční plochy čelního kloubu. Svoje uplatnění, nenašel jenom v medicíně, ale i v leteckém průmyslu, kdy se nanášel na lopatky rotorů. Díky rozptýleným karbidům Chromu a Molybdenu dojde ke zvýšení tvrdosti materiálu na úkor tažnosti. Vynikajících výsledků dosahuje v odolnosti proti kavitaci, ale problém nastává při tření dvou vrstev o sebe, kdy dochází k uvolňování Stelliteové vrstvy.

Odlupování Stelliteové vrstvy může být spojeno s typem a průběhem navařování vrstvy na základní materiál.

3. NAVAŘOVÁNÍ KLUZNÝCH VRSTEV

V praxi jde o robotizovaný proces navařování vrstev. Ty se vyznačují nulovým výskytem defektů a vad, minimálním stupněm promísení a s tím spojené rovnoměrné tloušťky jednotlivých navařených vrstev, které mají minimální nároky na obrábění (0,5 – 0,7 mm). Zaručeny jsou funkční vlastnosti návaru od 0,5 mm.

Nejčastěji používanou navařovanou vrstvou je CuAl10. Jde ji navařovat na běžné oceli což je spojeno s minimálními náklady na proces. Díl je zhotoven z klasické konstrukční oceli a jako další krok se povrch opatří bronzovým návarem. Tato součást, která je vyrobena z konstrukční oceli a dále je opatřena návarem se vyrovná klasickým celobronzovým součástí, ale cena je mnohem nižší. Další využití je například oprava znehodnocených vrstev. Proces je rychlý, spolehlivý a taky spojený s úsporou jak finanční tak časovou. [9]

Dosavadní zkušenosti ukazují, že ve srovnání s klasickým obloukovým navařováním vycházejí laserové návary levněji a to nejen díky nízkým přídávům na obrobení. Klíčová je rychlost zpracování zakázky a kvalita návaru.

3.1. Plasmové navařování stelliteových vrstev

Stelliteové vrstvy se nejčastěji svařují a navařují plasmou. Tato metoda se používá dlouhou dobu, protože pro stabilizaci elektrického oblouku a vznik koncentrovaného plasmového paprsku je

nutno ionizovat min. 30% plazmového plynu nejčastěji jde o Ar, Ar+H₂, He+Ar, N₂. Vyzářený plazmový paprsek dosahuje vysokých teplot až 16 000 K. Rychlost ohřevu tímto zdrojem tepla je tedy velmi vysoká a specifické teplo vnesené do základního materiálu je malé. V důsledku těchto parametrů vzniká pouze malá ovlivněná oblast, nízké úrovně deformací, minimální natavení základního materiálu a velmi nízké promísení. [9]

Nejčastěji navařované materiály v praxi a jejich tvrdosti ve srovnání s přírodními materiály (Tab. 6)

Tab. 6. charakteristické tvrdosti navarových materiálů

Materiál	Tvrdost (HV)	Kovový materiál	Tvrdost (HV)
vápenec	110	železo Armco	90
Sklo	500	žíhané oceli	100 - 250
Živec	600 - 750	perlitická ocel	230 - 350
Křemen	900 - 1280	ocel pro valivá ložiska	700 - 950
WC	1900	nástrojové oceli	700 - 1000
Korund	2000	cementovaná ocel	900
TiC	2450	nitridovaná ocel	900 - 1250
SiC	2500	WC+Co	1400 - 1800

Díky velkým třecím silám musíme dobře zvolit vrstvy, aby byly schopny bez poškození pracovat v tak těžkých podmínkách.

3.2. Návarové slitiny do podmínek abraze

Tab. 7 nejčastěji používané návarové vrstvy v praxi

Typ návaru	Typické složení	Charakteristika návaru
Ocel s nízkým obsahem uhlíku	0,1C, 1Mn, 0,5 Si, 0,8Cr, 0,5Ni, Základ Fe	Struktura- ferit, tvrdost:20-35Hrc Obrobitelný, houževnatý, není omezen v tloušťce návaru, nízká odolnost proti abrazivnímu a eroznímu opotřebení
Manganová ocel	1,1C, 14Mn, 1Ni, 0,5Mo, 2Cr, 0,5 Si, základ Fe	Struktura- austenitická, tvrdost při zpevnění až 550 HB, houževnatá, tažná, nemagnetická, vynikající odolnost proti kombinaci abrazivního opotřebení a rázů, nevhodná pro podmínky erozního opotřebení
Martenzitická ocel	0,5C, 1Mn, 0,5 Si, 5Cr, 1,5Mo, základ Fe	Struktura- martenzitická, tvrdost 45-60 HRC, pevnost do 500°C, odolává vydrolování, dobrá odolnost proti abrazivnímu opotřebení, nízká rázová houževnatost a tažnost
Návar Fe- Cr	4C, 20Cr, 2Mn, 1Si, 1 Mo, 0,5Ni, základ Fe	Struktura- martenzit-austenit + karbidy M_7C_3 tvrdost- 45-60 HRC, obvykle praská, nutno navařit 2-4 vrstvy, výborná odolnost proti abrazivnímu i eroznímu opotřebení do 500°C
Na bázi Cu	10Al, 1,5Fe, 0,3Sn, základ Cu	Nízké tření v dvojici s ocelí, odolává adheznímu opotřebení, odolává korozi, dobře obrobitelný, neomezená tloušťka, nevhodný do podmínek abrazivního a erozního opotřebení
Návar s WC	60% částic karbidu wolframu, Zbytek nízkouhlíková ocel	Karbidy WC v ocelové matrici, obvykle praská po navaření, výborná odolnost proti abrazivnímu a erozivnímu opotřebení
Návary na bázi Co a Ni	28 Cr, 5W, 1C, základ Co nebo Ni	Karbidy ve slitinové matrici, tvrdost 40-55 HRC, dobrá tvrdost do 800°C, odolávají adheznímu opotřebení za vysokých teplot, odolávají eroznímu opotřebení, kavitaci a nárazům

Volí se materiály, které poslouží dostatečnou dobu a které jsou z ekonomického hlediska výhodné.

Ještě před zvolením materiálu je dobré znát prostředí, ve kterém bude daný materiál pracovat protože, jak víme, každý Stellite tak i jiné funkční vrstvy, které nejsou na bázi kobaltu, mají svoje specifické prostředí, ve kterém vynikají. V praxi je nejvíce odpadů vrstev spojeno s překročením meze únavy nebo pevnosti, kdy dochází ke změně a součást nepracuje, jak má. Abrasivní opotřebení si představíme jako tření dvou těles o sebe a v praxi představuje kolem 50% veškerých opotřebení.

Při opravách se používají vícevrstvé návary materiálu, jelikož první natavení změní strukturu základního materiálu. Další vrstva překryje první nedokonalou vrstvu a třetí vrstva už má požadované podmínky původní vrstvy, tzn. sjednotíme chemické složení vrstvy. Takto můžeme vyrábět velké tloušťky, ale nevýhodou je, že se musí dále zpracovávat. [9]

Každá návarová vrstva vyniká v jiných pracovních podmínkách, proto se musí dobře zvolit, aby nedocházelo k zbytečnému poškození, odstávce stroje a následné výměně součástí. (Tab. 7)

4. LOMY A ZPŮSOB ŠÍŘENÍ

Rozlomením původně celistvého povrchu materiálu se některé atomy, které byly předtím uvnitř materiálu, utvoří nový vznikající povrch, který tvoří lomovou plochu. Tímto se však jejich energie zvětší. To co brání zlomení tělesa, je tedy povrchové napětí materiálu, ze kterého je těleso vyrobeno.

Účinek povrchového napětí se pak umocňuje geometrickými aspekty lomového procesu. Lom má vlastnosti procesu: velikost lomové trhliny a je na počátku malá a postupným časem a zátěží se zvětšuje.

V počátku lomového stádia je trhlina dostatečně malá. Práce W_s nezbytná ke vzniku povrchu trhliny, je větší než energie pružné deformace W_e , která při vzniku lomové trhliny uvolní energii a to bez ohledu na to, jak je velká působící vnější síla. Pokud by byl materiál celistvý, tak by nebylo vůbec možné ho rozlomit, ale ve skutečnosti materiál celistvý není, jelikož je složen z atomů. Tímto získáme představu o minimální možné trhlíně, která odpovídá nejmenší možné vzdálenosti atomů mezi sebou což, je v ideálním krystalu dáno mezi atomární velikostí a_u .

Reálné materiály se dají rozlomit protože se v nich vyskytují apriorní zárodeční trhliny. Podmínkou zlomení, poškození celistvosti a to zapříčiní vznik nového povrchu díky necelistvostem, které už v materiálu byli před tím, než na něj vnější síla začala působit, nebo v daném tělese vznikly působením vnější plastické deformace, která zlomení předcházela.

Lomy dělíme na statické nebo únavové. Statický neboli únavový lom vznikne jako okamžitá reakce materiálu na jeho jednorázové zatížení, které překročí jeho určitou hodnotu tedy mez pevnosti R_m .

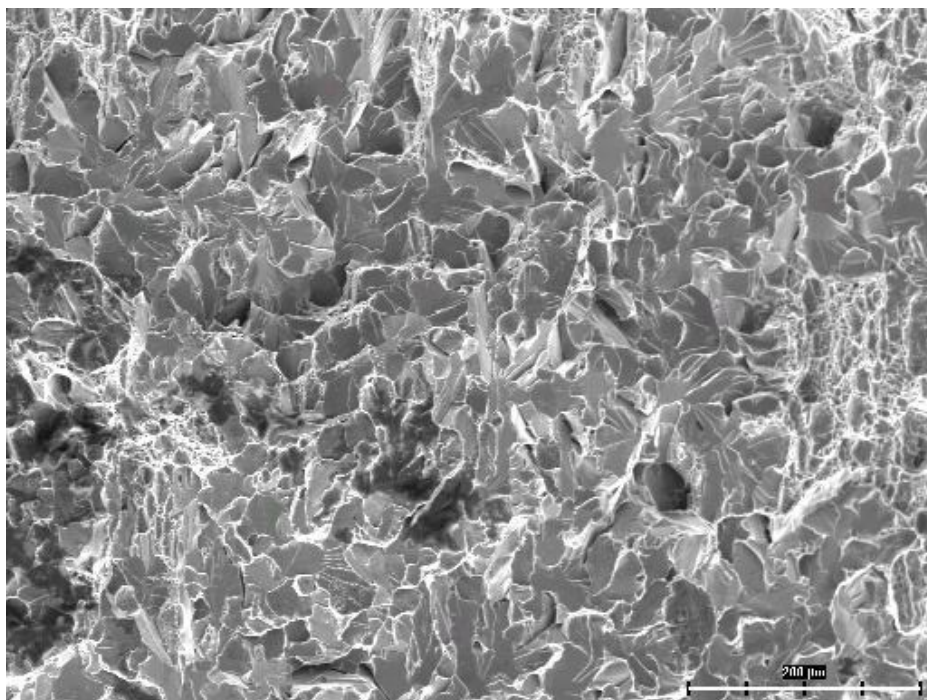
Na rozdíl od toho vzniká lom únavový (časový) postupným hromaděním poškození při opakovaném mechanickém, tepelném nebo kombinovaném mechanickém a tepelném namáhání materiálu nebo délce, která je menší než R_m .

Při statickém zatěžování může nastat problém s narušením meziatomárních vzdáleností materiálu dvěma různými mechanismy a to štěpením tak, že se od sebe odtrhnou dvě sousední vrstvy atomů v krystalu vlivem normálového napětí nebo tak, že dvě atomové vrstvy se po sobě sklouznou vlivem tangenciálního napětí. Podle toho, jak lom probíhá, tak je můžeme rozdělit na transkrystalické a interkrystalické.

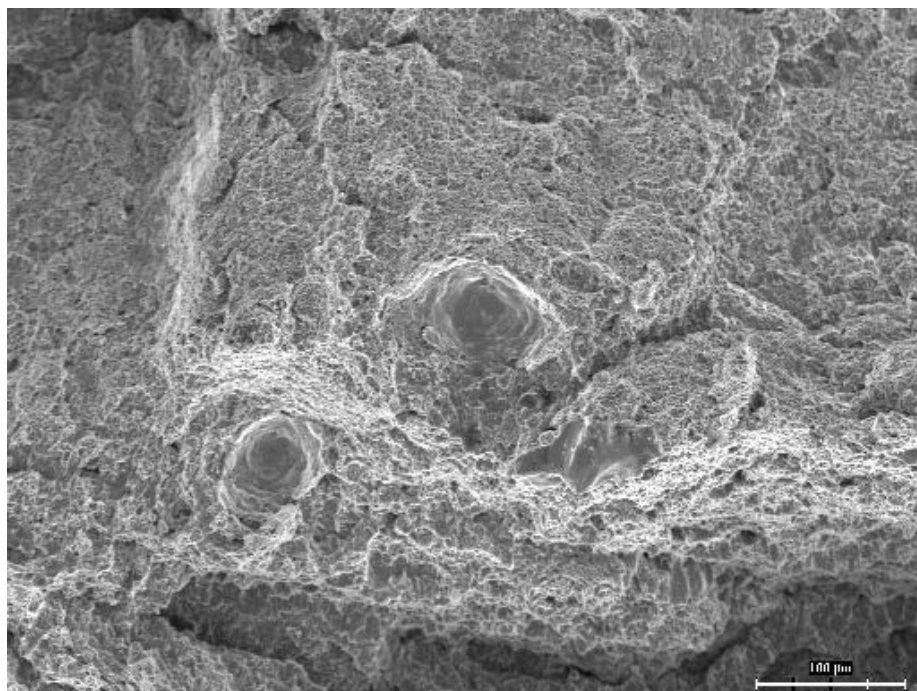
Štěpení je děj, při kterém se postupně porušují meziatomární vazby až k lomu, při napětí menší než je mez kluzu, bez výrazné makroskopické plastické deformace tělesa. Proto tento lom označujeme jako křehký. Transkrystalické štěpení probíhá v těch rovinách, které mají: malé povrchové napětí, velkou mřížkovou hustotu (počet atomů na 1 cm^2 plochy) velkou vzdálenost d k sousedním rovinám příslušné rovinné osnovy, což zajišťuje, že dané roviny nemohou bránit štěpení.

Také můstky a dutiny se vytahují a zeslabují. Prolamováním daných můstků se trhliny spojují, až posléze vytvoří výslednou lomovou plochu.

Tvárný lom (obr. 2) je mnohem méně nebezpečný než křehký lom (obr. 1). Plastická deformace zabezpečuje zatěžované těleso před zlomením také tím, že ve výsledku otupuje čelo trhliny a tím potlačí lokální zvýšení nominálního napětí, ke kterému na čele trhliny dochází. [6]



Obr. 1. Křehký lom [10]



Obr. 2. Tvárný lom [10]

Plastická deformace sice na jedné straně brání lomu tělesa, když spotřebuje část energie přiváděné mu vnějším zatěžováním a otupuje čelo štěpné trhliny, na druhé straně generuje zárodeční mikrotrhliny, jejichž růstem a dalším spojováním se lom posléze uskuteční.

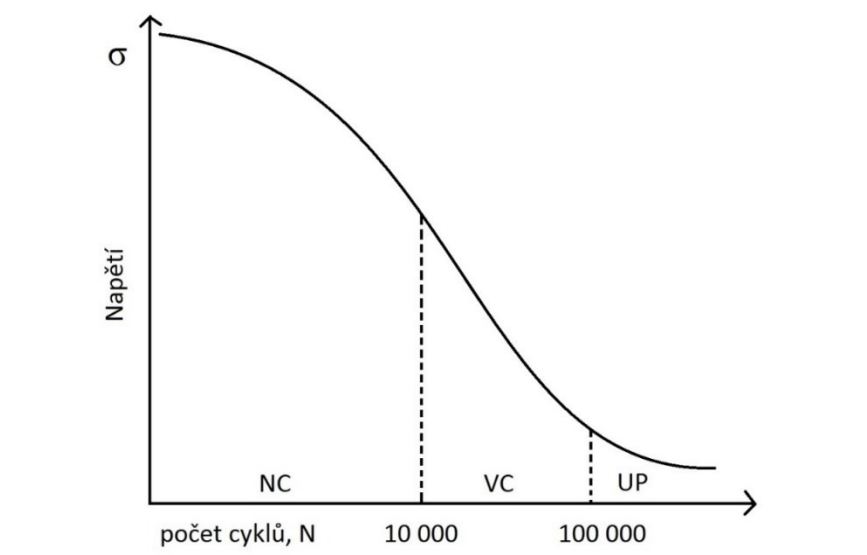
Deformace sice brání okamžitému prasknutí, ale v podstatě je cestou, která k vytvoření lomové trhliny tělesa po jisté době nakonec přivede.

Další věc, která se na vymílání vrstvy projeví, jsou únava za zvýšené teploty, jelikož vrstvy pracují za zvýšených tlaků a teplot.

Únavou kovových materiálů charakterizujeme proces, který zapříčiní vznik trhlín vlivem cyklické deformace a způsobí poškození v důsledku vzniku a rozvoje trhlín.

Únavové cykly (obr. 3) jsou popisovány pomocí dvou veličin: σ_m – středního napětí a σ_a – napětí amplitudy cyklu. Součinitel těchto dvou veličin dává maximální napětí cyklu $\sigma_{\max} = \sigma_m + \sigma_a$.

V závislosti na přijatém počtu cyklu rozlišujeme únavovou pevnost na nízkocyklickou ($N = 10^3 - 10^4$), omezenou ($N = 10^4 - 10^6$) a neomezenou ($N > 10^6$), s tímto mechanismem je spojena Wöhlerova křivka (Obr. 3)



Obr. 3. Wöhlerova křivka [6]

Únava nízkým počtem cyklů probíhá při vysokých napětích a s tím spojených velkých deformacích, když počet cyklů do lomu je menší, než 10 000 je vyznačeno na Wöhlerově únavové křivce.

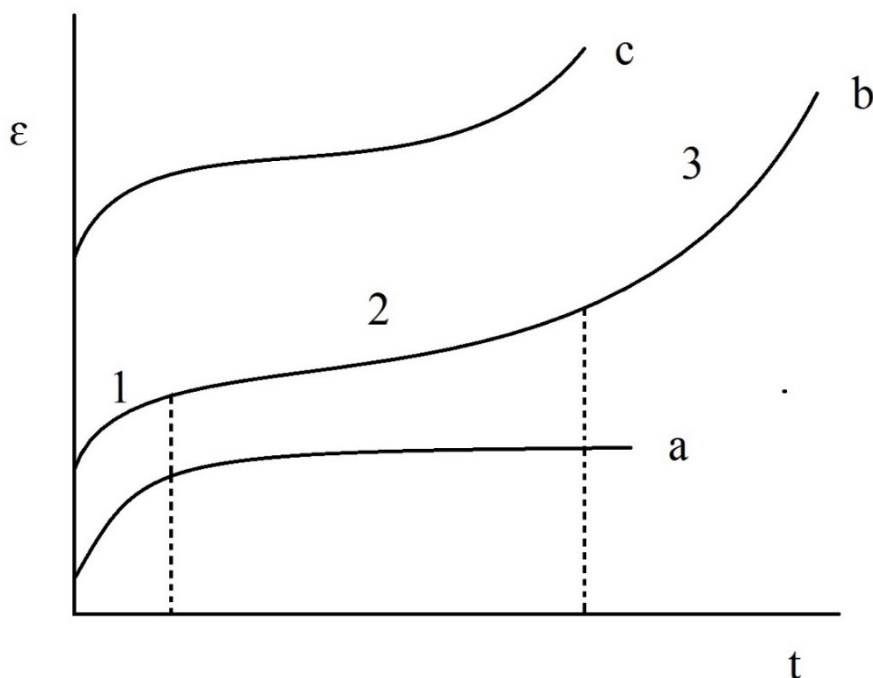
Plastické deformace při malém cyklu opakování jsou vysoké a mohou způsobit velké změny v průběhu závislosti napětí-deformace.

4.1. Únavy při creepovém chování

Rychlost rozvoje únavových trhlin informuje o schopnosti materiálu nebo součásti odolávat zbytkové únavě při, konkrétních podmínkách zatížení. Zajímavá je rychlost šíření trhliny (obr. 4) do okamžiku dosažení určité kritické velikosti trhliny, při které následuje katastrofální rozvoj trhliny.

Součinitel K dosahující v okamžiku nestabilního růstu trhliny kritickou hodnotou, se označuje K_c a nazývá se lomovou houževnatostí. Křehké porušení se nejčastěji vyskytuje tam, kde tahové napětí působí kolmo na rovinu trhliny a způsobuje její otevření. Tento případ se označuje symbolem K_{Ic} . [6]

4.2 Schématický průběh změn rozvoje trhliny



Obr. 4. Závislost deformace na čase. [6], a) nízkoteplotní creep. b) středně teplotní creep. c) difúzní creep 0,9% teploty tání – uskutečňuje se difúzí vakancí. 1, stádium inkubace a iniciace mikropórů, velký vliv mikrostruktury a střední napětí prostředí. 2, stádium stabilního růstu trhliny, malý vliv mikrostruktury a střední napětí – rozdílný vliv prostředí. 3, stádium

katastrofálního praskání, podstatný vliv mikrostruktury a střední napětí – rozdílný vliv prostředí.

Trhlina se v první fázi pomalu iniciuje (Obr. 4) Dále má stabilní velikost i tvar a oproti trhlině v první fázi je větší. Materiál je schopný při stavu číslo 2 pracovat, jelikož je tečení v ustáleném stavu. Nejhorší je fáze číslo 3, jelikož materiál vyčerpal všechny své vnitřní síly a v oblasti 3 dochází k lomu materiálu.

5. VLIV CHEMICKÉHO SLOŽENÍ A STRUKTURY NA ODOLNOST MATERIÁLU PROTI TEPELNÉ ÚNAVĚ

Odolnost proti tepelné únavě může být spojená s omezeným vznikem a rozvojem únavové trhliny. Obecně zvýšení uhlíku v oceli vede ke zhoršení odolnosti proti tepelné únavě.

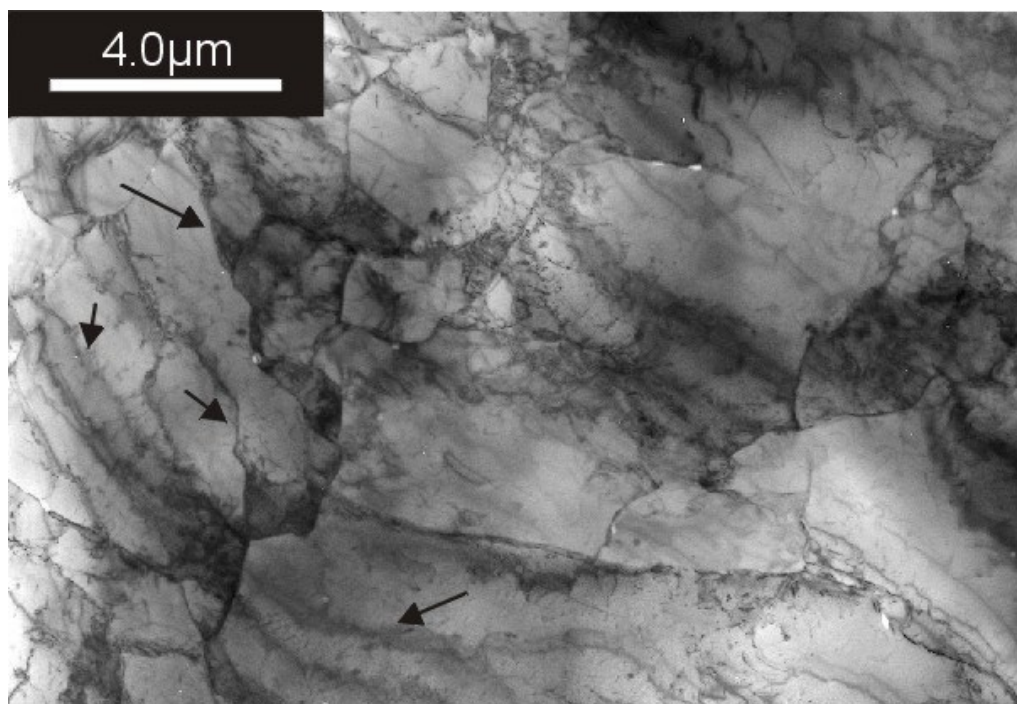
Přídavkem molybdenu, wolframu, kobaltu, zpevňující tuhý roztok, zpomalují difuzní procesy a tím zvyšují odolnost proti tepelné únavě.

Legující prvky snižují součinitel tepelné roztažnosti a mají pozitivní vliv. Zatímco nečistoty S, P, Sn, Pb, H, O segregují na hranicích zrn a podporují vznik mezi krystalových trhlin.

Napětí v procesu tepelné únavy vznikají v důsledku gradientu teploty (napětí 1. druhu) a anizotropie fyzikálních vlastností materiálu i fázových přeměn (mikronapětí – napětí 2. druhu). Mikronapětí vznikají v důsledku rozdílů hodnot součinitele teplotní roztažnosti dvou sousedních zrn nebo fází i rozdílu těchto fází.

Přítomnost precipitátů a zejména jejich seskupení nebo vytváření lokálních kolonií, je rovněž příčinou vzniku mikropnutí. Podstatný vliv na pevnost při tepelné únavě má také proces výroby materiálu rozhodující o tvaru a morfologii zrn, druhu vnitřních vad jako jsou póry, plynové bubliny, nekovové vměstky a jiné strukturní faktory doprovázené oslabením materiálu a koncentracemi napětí.

Zajímavé údaje pro poznání vlivu cyklické deformace poskytuje obraz dislokační struktury (Obr. 5), vzniklé v procesu nízkocyklové únavy. Hustota dislokací, jejich pohyblivostí a formování dislokačních a buňkových struktur charakterizuje procesy oslabování nebo zpevňování a generování mikrotrhlin. [6,7]



Obr. 5. Pohyby dislokací [10]

Příklad působení nekovových vměstků na zrychlení únavového poškození v oblasti vysokého namáhání pláště bubnu, kde došlo k přemostění lamelárních trhlin pod úhlem 45° při teplotě 320°C a provozní době 16 let. Navíc se tady vyskytuje velmi nebezpečný prvek přemostění lamelárních trhlin. Jejich nestabilní růst může náhle zkrátit životnost konstrukčního prvku, zejména v oblasti svarového spoje, kde se potenciálně vyskytuje značný počet koncentrátorů napětí.

Podstatný vliv na životnost v podmínkách cyklických změn teploty má agresivita prostředí. Může se to projevit v mechanismu výměny tepla ovlivňujícího hodnotu gradientu teploty v součásti a také v reakci s materiálem podporující procesy:

- Oxidace
- Povrchové i objemové koroze
- Křehkosti
- Vzniku a rozvoje trhlin v povrchové (ochranné) vrstvě v důsledku rozdílu fyzikálních vlastností vrstvy a základního materiálu.

Tyto podmínky se vyskytují hlavně v podmínkách, které jsou náročné na materiál pomocí tlaků tak i teplot, nejčastěji se jedná o lopatky turbín.

5.1. Krystalizace

Krystalizace tavenin je jeden z nejobvyklejších způsobů výroby pevných látek. Jedná se o přechod z kapalné fáze do tuhé fáze, ke které dochází v souvislosti s tím, že termodynamický potenciál kapalné fáze G_L (L-kapalná fáze likvidus) při těchto teplotách pod bodem tuhnutí T_t (teplota tání) stává vyšší než potenciál fáze G_S (S-pevná fáze solidus). Snížíme-li teplotu taveniny pod bod tuhnutí, nastane to, že tavenina, která je do této doby nestabilní přechází do pevné fáze a tuhne. Většinou nedochází k tuhnutí taveniny, při bodu tuhnutí T_t , ale až pod touto teplotou, to znamená při určitém podchlazení.

Podchlazením nazýváme rozdíl bodu tání T_t a od této teploty, odečteme aktuální teplotu T . Podchlazení, závisí na materiálu a je zhruba úměrné jeho teplotě tuhnutí.

Na podchlazení závisí i rychlost, kterou ochlazujeme. Čím rychleji ochlazujeme tím, většího podchlazení materiálu dosáhneme a taky záleží na čistotě taveniny.

K podchlazení taveniny při jejím tuhnutí dochází proto, že vzniknout nemusí jenom pevná fáze, ale taky rozhraní mezi nově vznikající pevnou fází a původní výchozí fází tekutou. [7]

5.2. Nukleace

Tavenina neutuhne okamžitě po snížení teploty na bod tuhnutí, ale až po určité době, když fluktuacemi vznikne dostatečně velký přebytek potenciálů nutný k překonání bariéry ΔG_{\max} , které symbolizuje nejmenší možný zárodek, který může vzniknout při překročení teploty tání T_t . Náhodnými srážkami molekul v tavenině se zvýší energie jisté molekuly na tolik, že to umožní vznik energeticky náročné atomové konfiguraci rozhraní. Jak víme ze statické fyziky, je pravděpodobnost vzniku této fluktuace právě při teplotě T .

5.3. Povrchové napětí

Povrchové napětí pevných látek vzniká tak že, atomům na povrchu chybí polovina sousedních atomů (sousedů) v porovnání se situací, která je uvnitř látky. Tato rozdílnost má za následek mnoho odlišností.

V důsledku odlišných silových polí uvnitř krystalu jsou atomy na povrchu vysunuty z regulárních poloh, v nichž se nacházejí uvnitř krystalu. Tyto výchylky činí až několik piko metrů. Někdy díky výchylkám dochází k narušení struktury. Rozdělujeme narušení slabé (relaxaci) a silné narušení (rekonstrukci). Výchylky jsou jak v rovině povrchu, tak ve směru kolmém k povrchu.

Protože atomům na povrchu pevné látky chybí nejbližší soused z poloprostoru, který je neobsazen, vzniká síla, která působí směrem dovnitř do objemu krystalu. Tato síla je největší pro vnější vrstvu a směrem do krystalu klesá a v hloubce několika málo atomových vrstev vymizí.

Tato síla je soustředěna pouze do malého objemu hned pod povrchem, kde jsou síly podstatně jiné než uvnitř krystalu. Mluvíme o koherentním tlaku, který se uplatňuje u všech látek v kondenzovaném agregátním stavu, což jsou kapaliny či taveniny, krystaly nebo skla a jejich podstatou malé stlačitelnosti kapalin a pevných látek.

Povrchové napětí můžeme chápat také jako sílu působící v rovině povrchu kolmo na jednotkovou délku obvodu povrchu, kterou je třeba působit, aby vyvolala jednotkové posunutí.

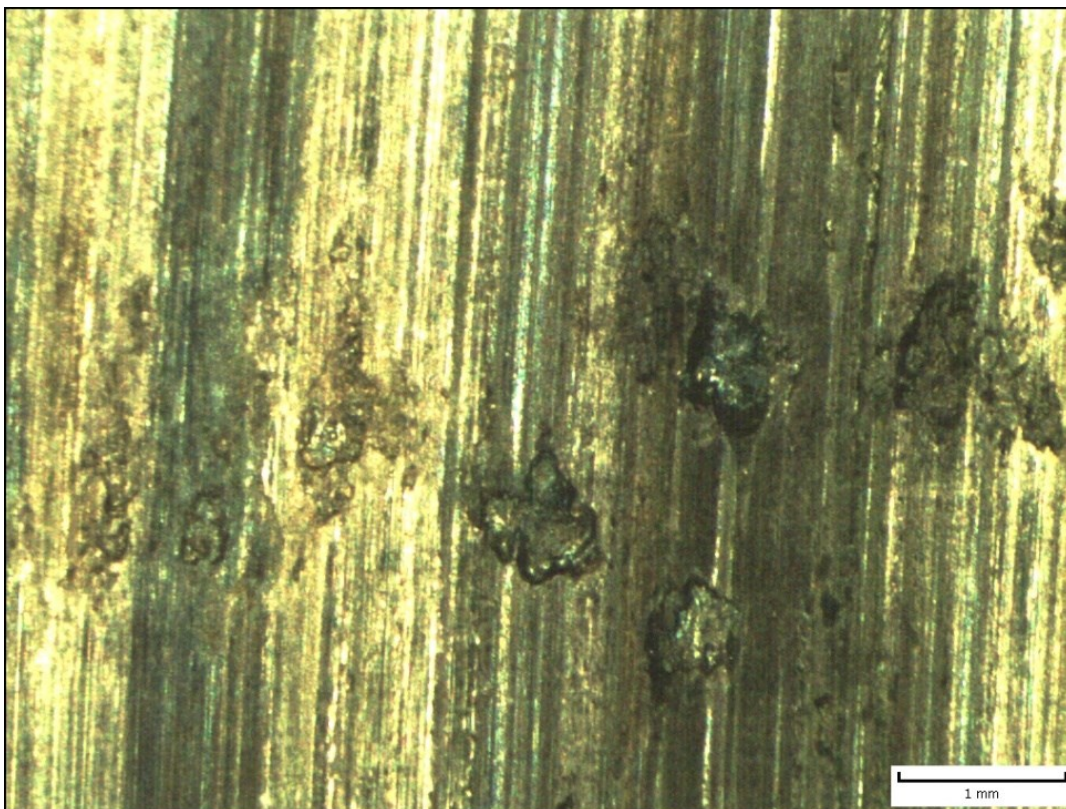
Povrchové napětí se snaží zmenšit povrch daného objemu látky v kondenzovaném stavu. Proto když se rozstříkne voda tak mají kapičky kulovitý tvar (kulička má při daném objemu nejmenší povrch) tato technologie se používá například při výrobě broků. [7]

6. PRAKTICKÁ ČÁST

Vzorek, který vyhodnocujeme je kulový ventil, který pracoval v tepelné elektrárně jako vysokotlaký ventil. Ventil pracoval při teplotě 550°C a 100 barů, průměr ventilu byl 112 mm, kdy byla dvakrát měsíčně měněna poloha z otevřeného na uzavřený. Doba používání armatury byla 12 měsíců. Nastala nízkocyklová „opotřebení“ jelikož ventil za svou dobu provozu cca. padesátkrát, změnil svoji polohu.

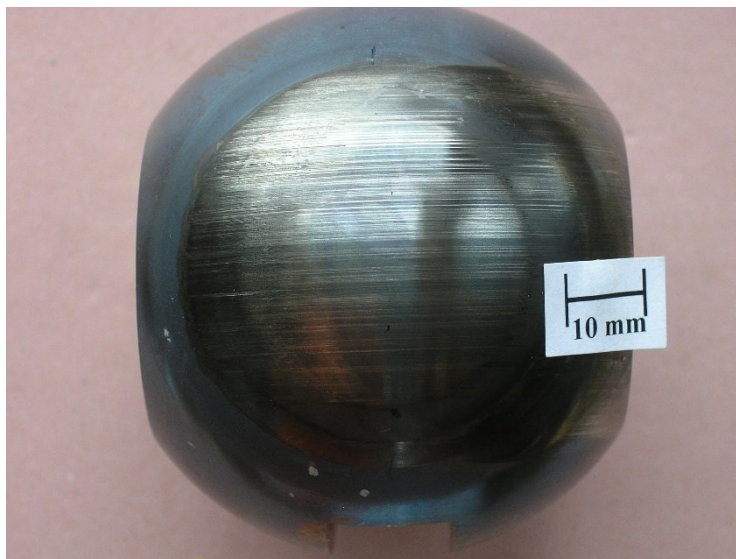
Vzorek byl dělen elektroerozivně díky problémům s uchycením a dále díky velké tvrdosti vrstev. Na dělení vzorků se použila řezačka CHMER EDM G32F

Plochy byly analyzovány na optickém stereomikroskopu Olympus SZX12 při zvětšení 20x nalezeno několik typů poškození včetně míst, která vypadala jako iniciační místa pro oddělování (odlupování) svrchní vrstvy.(obr. 6)



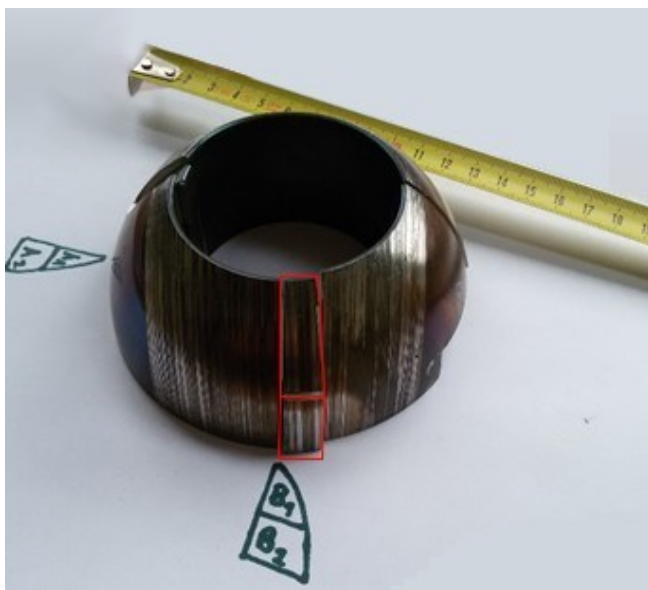
Obr. 6. Ze stereomikroskopu s typickým poškozením vrstvy

Makro (Obr. 7) bylo pořízeno fotoaparátem Olympus 5060, byly pořízeny fotografie kulových ploch s důrazem na poškozená místa



Obr. 7. Poškozený povrch

Dělení koule bylo provedeno v místě poškození (Obr. 8), druhé dělení bylo provedeno s pootočením o 90° v nepoškozeném místě (Obr. 9)



Obr. 8. Odběr vzorku poškozené vrstvy



Obr. 9. odběr vzorku nepoškozené vrstvy

Mikrostrukturní metalografická analýza byla provedena mikroskopem Olympus IX 70 na řezech poškozených i nepoškozených ploch v leštěném i leptaném stavu. Analyzovala se mikrostruktura základního materiálu, stelitového návaru i mezivrstev.

SEM fázová analýza strukturní analýzy byla provedena rastrovacím elektronovým mikroskopem (SEM) JEOL JSM-6490LV vybaven energeticky disperzním analyzátozem (EDS) x-act na řezech poškozených i nepoškozených ploch v leštěném stavu, včetně chem. složení. Sledovala se mikrostruktura základního materiálu, stelitového návaru i mezivrstev. (Obr. 9)

Mikrotvrдость HV 0,2 dle Vickerse byla provedena tvrdoměrem LECO AMH 100, kde bylo měření prováděno na leštěných řezech kulových ploch mikrotvrдость v ekvidistantních řadách vtisků od povrchu stelitového návaru k základnímu materiálu.

Tvrдость HRC byla měřená orientačně na povrchu kulových ploch odrazovou metodou s výsledkem 36 HRC až 38 HRC. Měření provedené přenosným přístrojem (elektronickým tužkovým tvrdoměrem) EQUOtip 2 slouží spíše pro nastavení parametrů dělení

Snímky SEM byli pořízeny na přístroji, rastrovací elektronový mikroskop (SEM) JEOL JSM-6490LV. Kdy se emitovali zpětně odražené elektrony, to je nastavení v režimu BEC a pro zachycení zpětně odražených elektronů byl použit energeticky dispersní analyzátor EDS INCA x-act

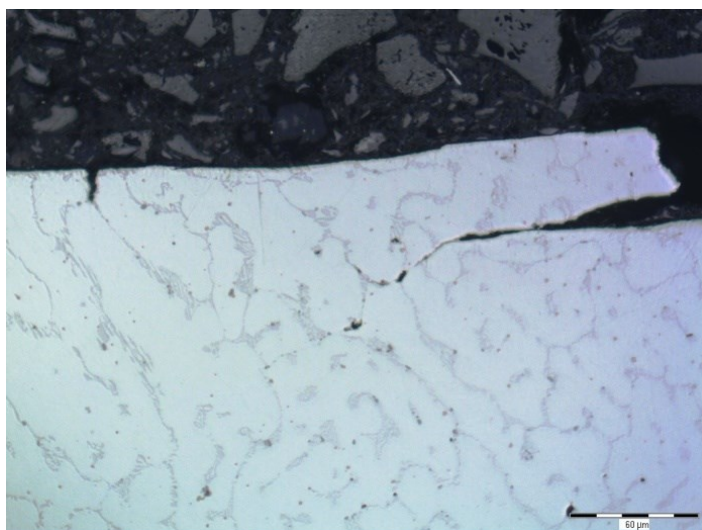
6.1. Nepoškozená Stelitová vrstva



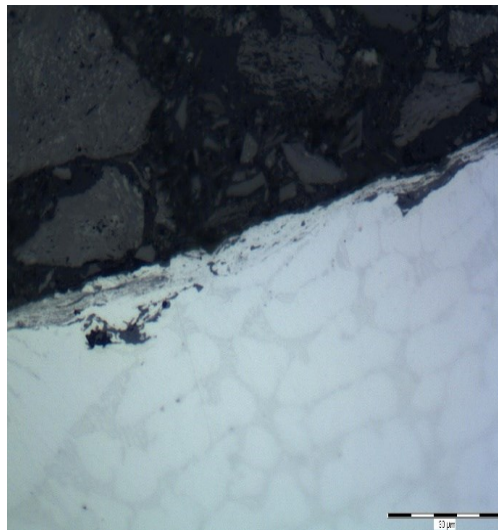
Obr. 10. Povrch nepoškozené Stelitové vrstvy.

Lze vidět u této vrstvy, jak vrstva na povrchu je celistvá bez odlupování.(Obr. 10)

6.2 Poškozená Stelliteová vrstva

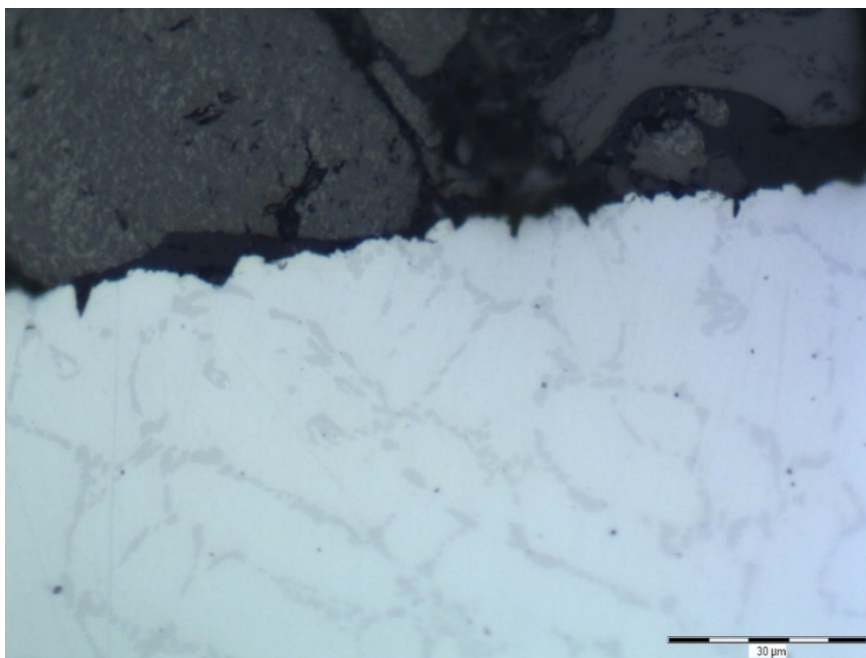


Obr. 11. Odloupaná vrstva



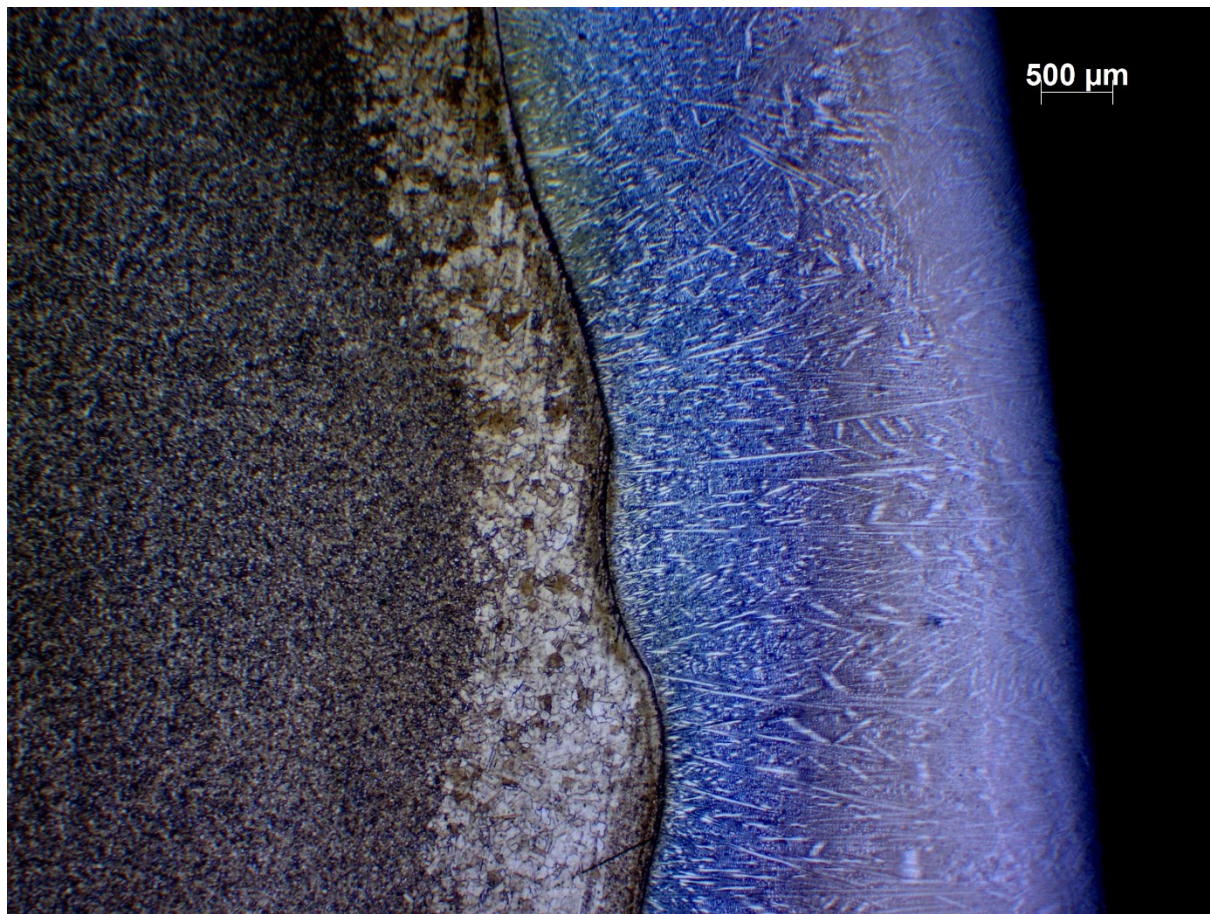
Obr. 12. část vrstvy, která nese
znaky oxidace a oxidických částí
zatlačených do povrchu.

Tady vidíme vrstvy, které už jsou opotřebený díky mechanickému namáhání za zvýšených teplot a tlaků. (Obr. 11,12)



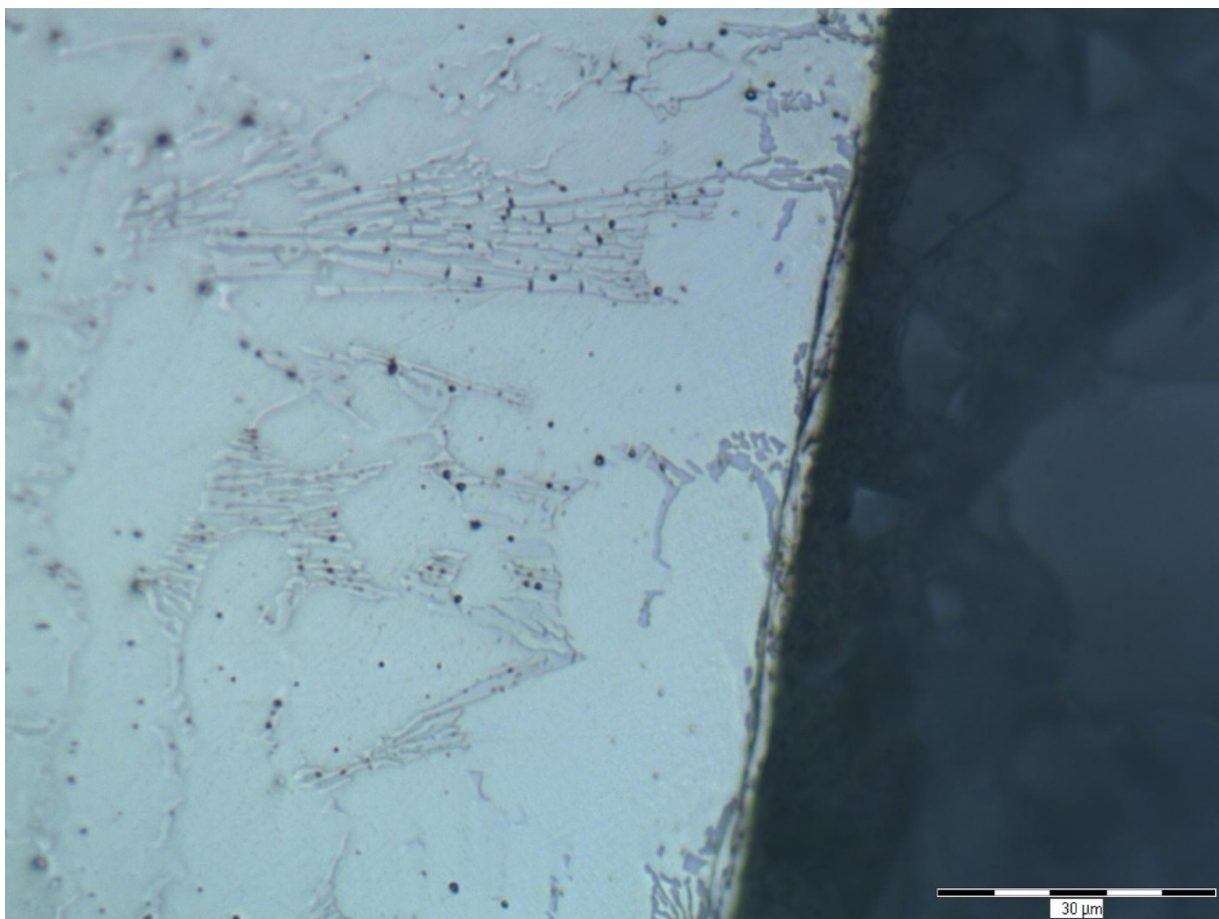
Obr. 13. Komplexní odloupení Stelliteové vrstvy.

Lze vidět odloupení Stelliteové vrstvy (Obr. 13). Tato část je vytrhaná celá oproti obrázkům (11, 12)



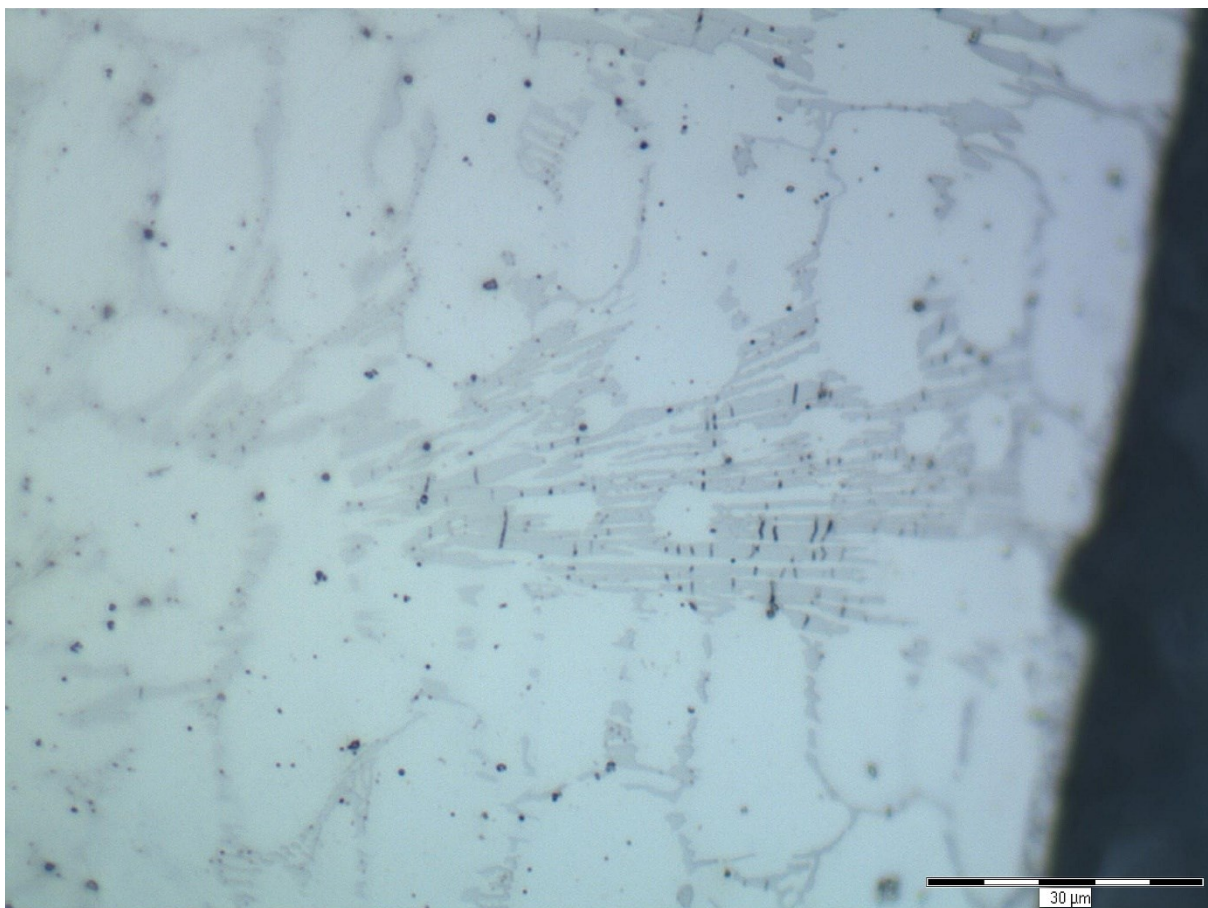
Obr. 14. přechod mezi základním materiálem a Stelitem.

Na obrázku je přechod mezi základním materiálem a Stelliteovou vrstvou (Obr. 14). Oblast s většími zrny, musela být dvakrát ovlivněna. Zrna měly čas a teplotu na nárůst. Přestože, není známa přesná technika návaru lze usuzovat, že návar byl proveden ze dvou částí, protože sama Stelliteová vrstva má blíže k povrchu menší dendrity. S tímto jevem jsou spojeny různé odvody tepla v různých částech materiálu.



Obr. 15. Zoxidovaný povrch materiálu

Na tomto obrázku vidíme spojování prasklin (Obr. 15) a praskliny v oblasti tvořené eutektikem, které zapříčinilo vypadávání vrstvy. Tady nastává problém, protože je eutektikum tvrdší než dendrit, to způsobí rozdílné vlastnosti a proto praská. Na povrchu lze vidět vtlačenou oxidickou vrstvu do Stellite. V oxidické vrstvě na povrchu, bylo zjištěno i poměrně mnoho železa.



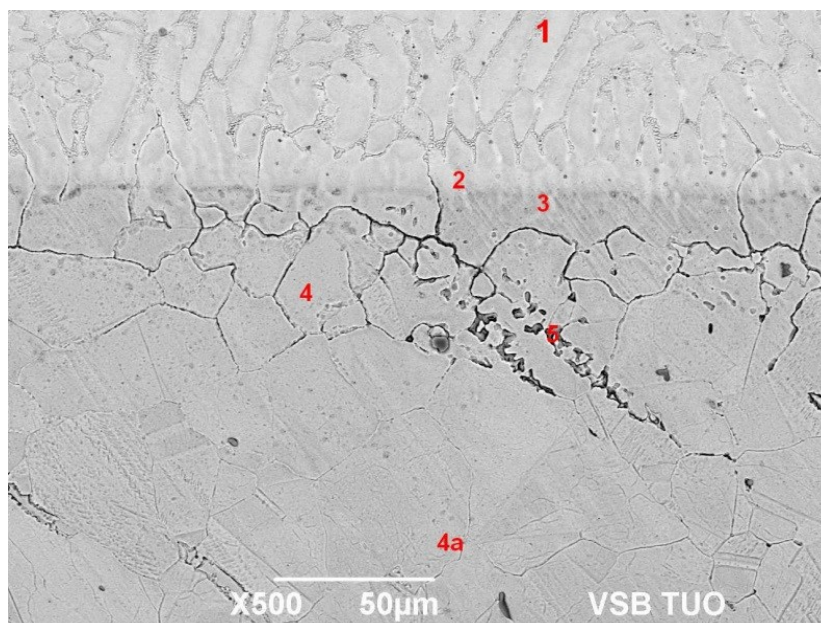
Obr. 16. Praskliny v eutektiku

Na obrázku lze vidět, jak dochází k odlupování přesně v místech popraskaného eutektika. (Obr. 16)

6.3 Analýza SEM

Řádkovací elektronový mikroskop (SEM – Scanning Electron Microscope) je zařízení, které využívá pohyblivého svazku elektronů k vyvolání fyzikálního signálu. Svazek je na povrch fokusován elektromagnetickými čočkami a nad povrchem je vychylován pomocí vychylovacích cívek. Proto dostaneme sken námi vybraného místa povrchu. V případě našeho vzorku jsme získali materiálový kontrast, který je funkcí středního protonového čísla a využívá větší odrazivost s rostoucím protonovým číslem.

Při skenování bylo zjištěno chemické promísení základního materiálu a Stelliteové vrstvy.



Obr. 17. Přechod základního materiálu a Stellitové nepoškozené vrstvy

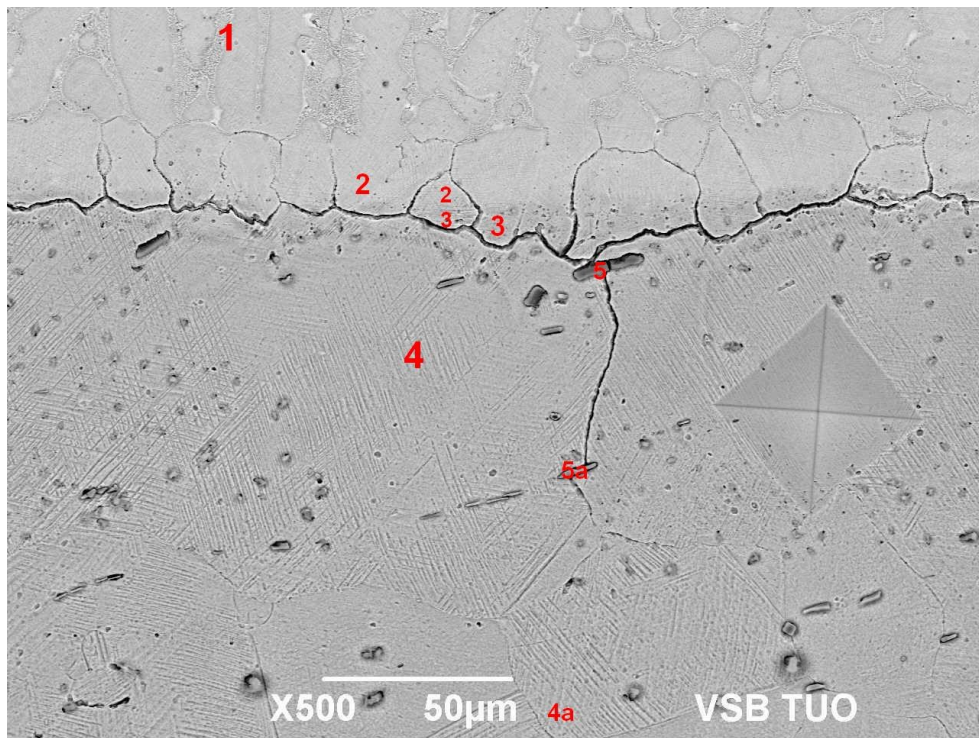
Tab. 8. % chemická kompenzace prvků v jednotlivých vrstvách (průměrné hodnoty ze 2 – 3 analýz)

Pozorovaná oblast	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Mo	W
Spectrum1	1,16	0,26	28,07	0,44	17,64	42,88	4,14	0,77	4,66
Spectrum2	0,89	0,23	20,75	0,71	32,43	34,78	6,87	1,03	2,33
Spectrum3	0,59	0,32	18,03	0,81	55,22	13,46	9,20	1,53	0,84
Spectrum4	0,47	0,59	17,46	1,22	67,61		10,38	2,29	
Spectrum4a	0,53	0,39	17,82	1,05	67,36		10,53	2,31	
Spectrum5		0,92	28,93	1,04	58,01		5,90	5,19	

Spectrum 2 a 3 dochází k difúzi prvků mezi jednotlivými vrstvami (Tab. 8). Chrom přechází do základního materiálu, dále železo přechází ze základního materiálu do Stellitové vrstvy. Železo difunduje ze základního materiálu do Stellitové vrstvy, to má za následek ochuzení základního materiálu o železo a dále snížení tvrdosti u Stellitové vrstvy do které difundoval. (Obr. 17)

Spectrum 5 ukazuje, vměstky které jsou obohacené o chrom ale ochuzené o železo a dále vidíme jak nám i wolfram, který se do Stellitu používá jako karbidotvorný prvek, difunduje do základního materiálu.

Z tabulky můžeme vyčíst že se jedná o austenitickou korozivzdornou ocel 18/10 což znamená 18% Cr a 10% Ni plus další legující prvky. Stelliteová vrstva začíná spectrem 2 a 3 protože máme náhlý nárůst Kobaltu který před navařením vrstvy nebyl v materiálu a navarové vrstvy mají jako matici Kobalt.



Obr. 18. Přejechod základního materiálu a Stelliteové poškozené vrstvy

Při SEM analýze je místo měření mikrotvrdosti, které na SEM obrázku lze vidět jako velký čtverec (Obr. 18). Tento čtverec má rovné všechny strany. Z charakteru deformačního poškození v okolí vtisků (pohyb skluzových pásů) lze usuzovat na velmi „vyrovnané“ napěťové deformační poměry v materiálu návarové vrstvy. Nedochází k pohybu skluzových pásů.

Tab. 9. % chemická kompenzace prvků v jednotlivých vrstvách (průměrné hodnoty ze 2 – 3 analýz)

Pozorovaná oblast	C	Si	S	Ti	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Mo	W
Spectrum1		0,97		0,24	27,68	0,57	17,06	44,52	3,86	0,51	4,60
Spectrum2		0,83		0,20	20,73	0,59	29,79	38,72	5,95	0,85	2,34
Spectrum3		0,58		0,31	18,41	1,07	54,54	13,67	8,87	1,60	0,95
Spectrum4		0,50		0,53	17,79	1,21	67,14		10,37	2,46	
Spectrum4a		0,40		0,77	17,39	1,15	66,76		10,80	2,74	
Spectrum5	14,3		21,1	56,90	1,83		4,77		0,61		0,37
Spectrum5a	25,4		5,25	61,40	1,63		3,79		0,53		1,92

Na analýze je vidět jak difunduje železo (tab. 9) do stelitové vrstvy a zajímavostí je spectrum 5 a 5a, což se jedná o titaničité karbidy, které mají vysokou tvrdost a mohou způsobovat nerovnoměrné tvrdosti a taky nám ukazují, jak se titan váže na uhlík a shlukuje se. (Obr. 18)

SEM analýzou byla potvrzena chemická kompozice Stellite. Kromě analýzy základních byly rovněž detekovány minoritní karbidické a nitridické částice (obr. 18)

Bylo zjištěno že, u kulového ventilu dochází k praskání v křehčí mezidendritické eutektické fázi.

6.4. HV měření

Jako první jsme podrobili měření neporušený vzorek A2. Tento vzorek byl zatěžován váhou 10 gramů, protože jsme potřebovali přesně naměřit tvrdost mezi dendrity eutektikem (Tab. 10).

Dendrity měly o dost větší tvrdost než eutektikum, ale tvrdost návaru se odvíjí právě od tvrdosti eutektika a materiál s chová jako kompozit.

Tab. 10. Měření mikrotvrdosti

Vzdálenost od povrchu materiálu (mm)	tvrdost
0,2	983 HV 0,01
0,7	458 HV 0,01
1,2	503 HV 0,01
1,7	1542 HV 0,01
2,2	941 HV 0,01
2,7	355 HV 0,01
3,2	289 HV 0,01
3,7	282 HV 0,01
4,2	290 HV 0,01

Tvrdost kolísá, protože záleželo, kterou fázi se povedlo tvrdostně změřit, ale tvrdost této vrstvy je vyšší než u neporušené vrstvy.

Tvrdost eutektika byla naměřena 983 a 1542 HV 0,01. Přitom tvrdost zrna dendritu byla naměřená 458, 503 HV 0,01.

Ve vzdálenosti 1,7 mm od okraje vrstvy se naměřila tvrdost eutektika, a jak lze vidět tak tvrdost dendritu přesahuje tvrdost zrna dendritu. Rozdílné tvrdosti taktéž zapříčiňují vypadávání vrstvy, protože tvrdší složka má omezenou schopnost přenosu deformace.

Levá část na obrázku (Obr. 19) má tvrdost 310 HV 0,5 a pravá část obrázku má tvrdost 438 HV 0,5 a přechod mezi jednotlivými dendrity měl tvrdost 444 HV 0,01. Takže jsou i rozdílné tvrdosti uvnitř Stelliteové vrstvy, ale mohou být spojeny právě s blízkým přechodem základního materiálu a Stelliteové vrstvy. Samotná vrstva vykazuje rozdílné tvrdostní vlastnosti. To může být způsobeno právě díky technice navařování, difuzi prvků

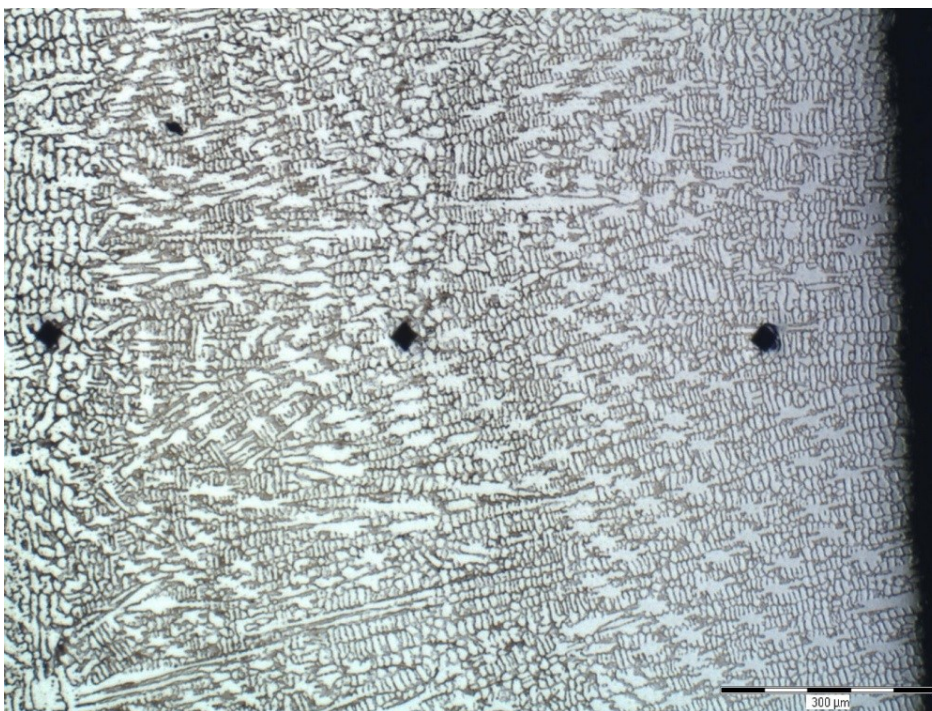


Obr. 19. Rozdíly ve Stelitové vrstvě

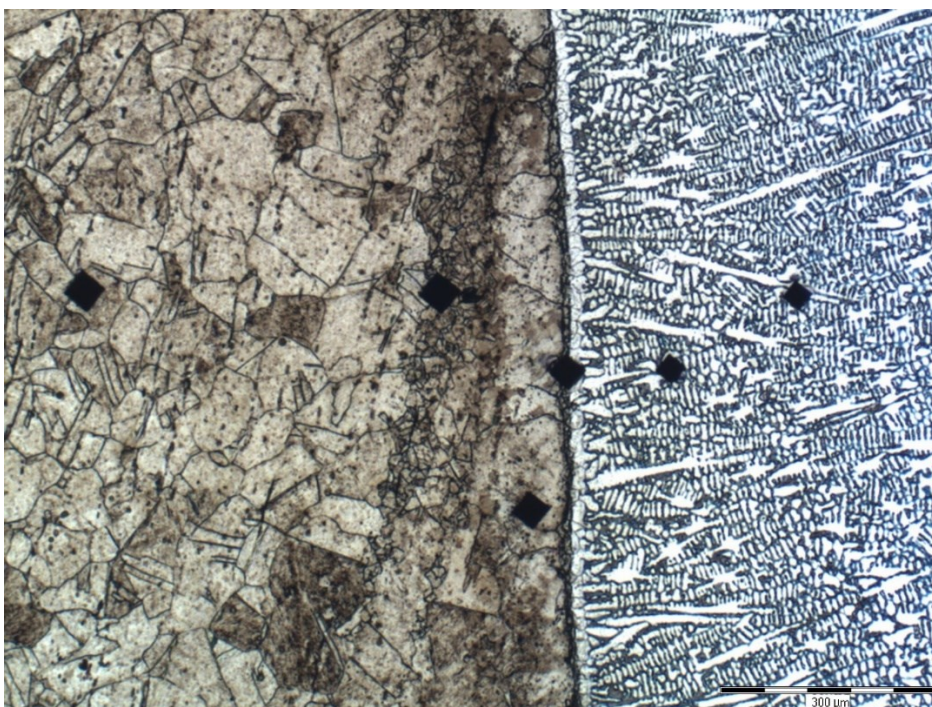
Tvrдостní přechody mezi základním materiálem a Stelitem lze vyčíst z (tab. 11), kdy Stelitová vrstva těsně před základním materiálem má menší tvrдост než je celková tvrдост Stelitového návaru a základní materiál hned po návaru Stellitu má vyšší tvrдост než základní materiál. Lze vidět, že tvrдост je menší než u poškozené vrstvy (tab. 10)

Tab. 11. Měření mikrotvrдостi

vzdálenost (mm)	Tvrдост
0,2	646 HV 0,5
0,7	565 HV 0,5
1,2	557 HV 0,5
1,7	541 HV 0,5
2,2	524 HV 0,5
2,7	512 HV 0,5
3,2	525 HV 0,5
3,5	537 HV 0,5
3,6	360 HV 0,5 přechod
3,65	317 HV 0,5
3,7	265 HV 0,5
4,2	268 HV 0,5



Obr. 20. Řez Stelitem a vzdálenosti ve kterých se prováděla mikrotvrdost
Vzdálenosti při měření. První vzdálenost je 0,2 mm od okraje a další navazuje vždy o 0,5 mm
na předchozí. (Obr. 20)



Obr. 21. Mikrotvrdost Stellitu a základního materiálu

Vzorek B1 byl porušený z provozu. Při HV 0,5 se použila větší zatěžovací hmotnost, abychom dostali tvrdost Stellite jako celku. Vpichy po mikrotvrdosti v levé části, jsou větší, protože tvrdost materiálu je menší a indenter proniká hlouběji do materiálu.

Tvrdosti podle vzdálenosti od začátku návarové vrstvy:

Rozdíly mezi poškozenou a nepoškozenou vrstvou (Tab. 12) ukazují, že poškozená vrstva je celkově tvrdší než nepoškozená vrstva. Méně tvrdší materiály využívají své plasticity, zatímco tvrdší materiál má svou plasticitu vyčerpanou a proto praská.

Poškozená vrstva

Při zatížení HV 0,2. Průměr je 610,7 HV 0,2. Směrodatná odchylka odpovídá 43,51

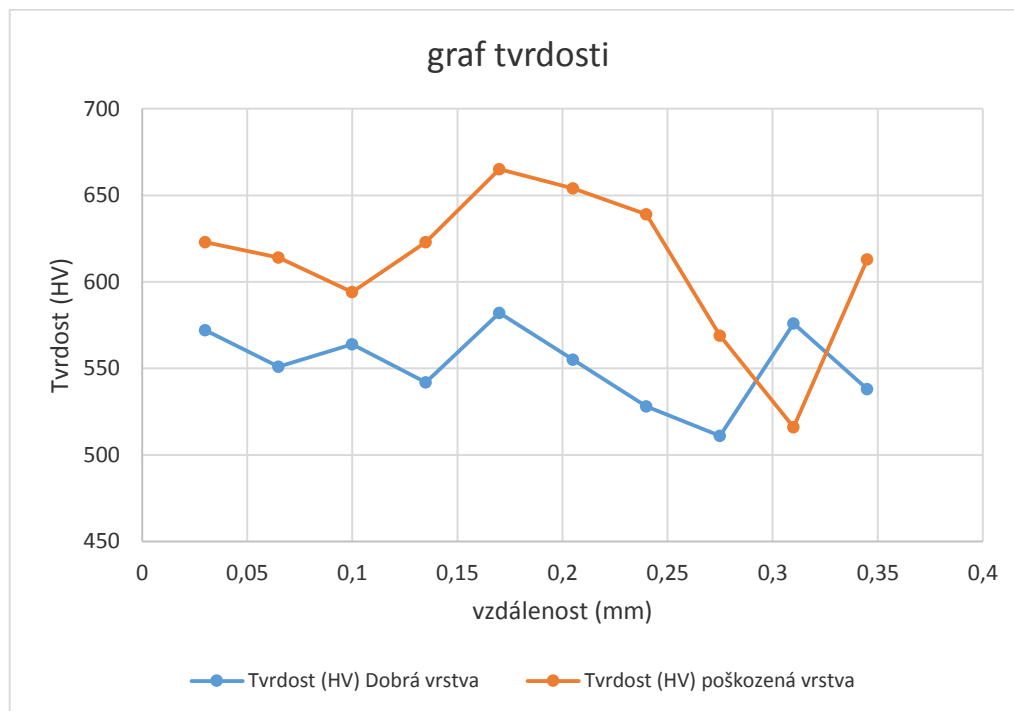
Nepoškozená vrstva

Při zatížení HV 0,2. Průměr je 556,9. Směrodatná odchylka odpovídá 17,46

Tab. 12. Měření HV 0,2 nepoškozené a poškozené vrstvy.

Vzdálenost od povrchu materiálu (mm)	Tvrdost (HV) nepoškozené vrstvy	Tvrdost (HV) poškozené vrstvy
0,03	572	623
0,065	551	614
0,1	564	594
0,135	542	623
0,17	582	665
0,205	555	654
0,24	528	639
0,275	511	569
0,31	576	516
0,345	538	613

Graf. 1. srovnání tvrdosti nepoškozené a poškozené vrstvy do vzdálenosti 0,345 mm od funkčního povrchu.



Z grafu (graf. 1) můžeme vidět rozdíl mezi dobrou vrstvou a vrstvou, která praskla. Rozdíly jsou v počátečních tvrdostech, která je o 100 HV 0,2 větší než v případě nepopraskané vrstvy. Vrstva začala praskat díky rozdílným tvrdostem a vyčerpané plasticitě v eutektické mezidendritické fázi.

Dále můžeme vidět, že i směrodatné odchylky nejsou zcela totožné. První je skoro dvojnásobná proto usuzujeme, že vrstva má velký rozdíl tvrdostí na poměrně malé ploše.

7. ZÁVĚR

Stellity se používají ve vysokotlakém vodním potrubním systému parních generátorů. Nejčastěji používanou ocelí na kterou se navařují je ocel AISI 316 (1.4401). kyselinovzdorná, chromniklmolybdenová ocel. Díky přísadě molybdenu má vyšší odolnost proti roztokům kyselin, zabraňuje vzniku rizika hluboké místní koroze a má vyšší mez kluzu i pevnosti. V důsledku stabilizace titanem není po svařování silnějších materiálů zapotřebí žádná tepelná úprava. Svařitelnost elektrickým obloukem je dobrá při použití všech metod svařování.

Na povrchu hodnocených koulí bylo zjištěno abrazní poškození oxidické vrstvy na povrchu návaru i návaru samotného. Poškození bylo umístěno nesymetricky a bylo vyvoláno částicemi srovnatelné tvrdosti jakou má vrstva Stellite na kouli.

Vizuálně poškození bylo intenzivnější (četnější) na výstupní straně ventilu. Kromě nejčastějších rýh v povrchu byly zjištěny stopy vlastního i nevlastního poškození návarové vrstvy; u funkční vrstvy došlo buď k vytržení nebo nalepení návarového materiálu (podle tvrdosti materiálů, které byly v kontaktu).

Rozsáhlé používání je u lité varianty ocelí AISI. Charakter poškození naznačuje, že příčinou poškození povrchu kulových součástí ventilu byla nestabilita návarové vrstvy Stellite 6, tzn. na povrchu koule. U návarové vrstvy bylo zjištěno její trhání po hranicích vytvrzující fáze (složky měly extrémně vysokou tvrdost a tím minimální zásobu plasticity).

Vlny s velkým nárůstem zrn v základním materiálu měly čas a teplotu na nárůst. Základní materiál musel být v místě vlny vícekrát tepelně ovlivněn. Proto se může jednat o začátek a konec návaru.

Zvláštností, která se na SEM analýze objevila, jsou titaničité karbidy. Titan se používá jako intersticiální prvek pro zvětšení tvrdosti a pravděpodobnostní snížení vzniku prasklin. Na vzorku se titanové vměstky spojily do větších shluků a zeslabily přechody mezi základním materiálem a Stelliteovou vrstvou. Vměstky vidíme na hranicích zrn, po které se pohybují.

Další kritérium, které se podílí na tvrdosti, je difuze prvků. Lze vidět na snímcích ze SEM analýzy, že prvky přechází jak ze základního materiálu do Stellite, tak i naopak a tím snižují tvrdost celé funkční součásti.

Spontánní nestabilita povlaku je s velkou pravděpodobností ovlivněna i nedodržením jakosti vytvořené návarové vrstvy. U povlaku bylo zjištěno poměrně jeho silné naředění železem (asi na 14% Fe). Byly zjištěny oslabené hranice zrn mezi základním materiálem stelliteovou vrstvou.

Literatura:

- [1] PORTER D. A., ESTERLING, K. E., SHERIF M. Y., Phase Transformations in metals and alloys, Third edition, CRC Press 2009.
- [2] STELLITE® 6 ALLOY: Comparison of the Properties of Stellite 6(R) Alloy when Supplied in different product forms. <http://www.stellite.com> STELLITE® 6 ALLOY. Page 1 of 4 - May 25, 2007
- [3] Cracking and Disbonding of Hardfacing Alloys in Combined-Cycle Plant Valves. Project ID: 073512. Electric Power Research Institute May 2012.
- [4] PTÁČEK L., *Nauka o materiálu I. 2.*, opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, c2003, xii, 516 s. ISBN 80-7204-283-1.
- [5] FIALA J., KRAUS I., *Povrchy a rozhraní*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2009, 299 s. ISBN 978-80-01-04248-9.
- [6] HERNAS A., *Žárupevné oceli a slitiny*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2009, 389 s. ISBN 978-80-248-2187-0.
- [7] Jaroslav F., KRAUS I., ŠUTTA P., MENTL V., *Struktura a vlastnosti materiálů*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2003, 572 s. ISBN 80-200-1223-0.
- [8] VELES P.: *Mechanické vlastnosti a skúšanie kovov*. vyd. Bratislava: ALFA, 1985. s.
- [9] <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-22010/adhezivni-opotrebeni.html> Dostupné z <tribotechnika.sk>.
- [10] <http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=250> Fraktografický rozbor lomových ploch v TOO svarových spojů. Dostupné z <cws-anb.cz>.
- [11] VODÁREK V., *Metody studia struktury: učební text*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-248-2559-5.